

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Racionalizace technologie svařování výložníků rýpadla

Rationalisation of Excavator Boom Welding Technology

Student:

Langmann David

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ochodek Vladislav

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student:

David Langmann

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Racionalizace technologie svařování výložníků rýpadla
Rationalisation of Excavator Boom Welding Technology

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného stavu svařování výložníků rýpadla.
2. Navrhněte nové robotické svařovací zařízení, proveďte posouzení jeho vlastností a případné využití na ostatní svařence.
3. Proveďte návrh pracoviště pro robotické svařování.
4. Navrhněte technologický postup svařování robotizovaným zařízením.
5. Proveďte technickoekonomické posouzení nynějšího stavu a po racionalizaci technologie svařování.

Seznam doporučené odborné literatury:

HRIVŇÁK, I. *Teoria zvariteľnosti kovov a zliatin*. Veda 1989.
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
KOU, S. *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, 1987.

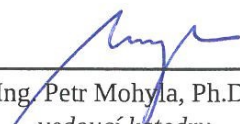
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



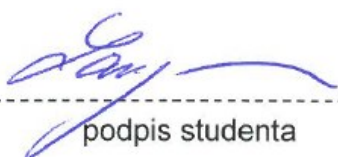

Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2014

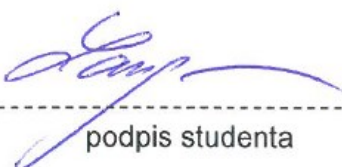


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19. 5. 2014



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Langmann David

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Libina 769,
788 05 Libina

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LANGMANN, D. *Racionalizace technologie svařování výložníků rýpadla: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 51 s. Vedoucí práce: OCHODEK, V.

Bakalářská práce se zabývá návrhem vhodné robotizované technologie svařování výložníků rýpadel. V úvodu je popsán důvod racionalizace svařování robotizovaným zařízením. V teoretické části je popsán stav současné technologie svařování výložníků, vyznačující se vysokou pracností a nízkou úrovní mechanizace práce. V dalších částech je provedena analýza možných variant robotických svařovacích zařízení, výběr vhodné technologie svařování, návrh pracoviště pro robotické svařování a návrh technologického postupu svařování robotizovaným zařízením pro vybraný typ výložníku. Závěrem práce je technickoekonomické porovnání současného stavu a po racionalizaci technologie svařování výložníků.

ANNOTATION OF BACHELOR WORK

LANGMANN, D. *Rationalisation of Excavator Boom Welding Technology: Bachelor's Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2014, 51 p. Thesis head: OCHODEK, V.

This bachelor thesis deals with robotic welding technology of boom. The introduction describes reason of welding robotized equipment. The theoretical part describes the current state of technology of welding beam, characterized by high labor input and a low level mechanization of work. In the other part is an analysis of possible variants of robotic welding equipment, selection of appropriate to welding technology, proposal workplace for robotic welding and a proposal the technological process of welding robotic device to select the type of boom. As a result is technical and economic comparison of the current situation and after rationalization of welding technology of boom.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod.....	9
1 Rozbor současné technologie svařování výložníků	10
1.1 Údaje o svařovaném výložníku.....	10
1.2 Současná technologie svařování.....	13
1.3 Postup sestavení a svařování výložníku.....	18
1.4 Kontrola svarů	20
2 Studie vhodných zařízení pro robotické svařování výložníků	21
2.1 Základní charakteristika svařovacího robota	21
2.2 Proces svařování vysokovýkonným obloukem	23
2.3 Proces tandemového svařování	24
2.4 Proces svařování LaserHybrid	25
3 Návrh pracoviště pro robotické svařování	27
4 Návrh technologického postupu svařování robotizovaným zařízením	30
4.1 Návrh technologického postupu	30
4.2 Návrh svářečské dokumentace	39
4.3 Požadavky na kvalifikaci svářeče	39
5 Technické a ekonomické přínosy navrhované technologie.....	40
5.1 Svařování ruční tavicí se elektrodou v aktivním plynu MAG (135).....	40
5.2 Svařování navrhovaným robotizovaným zařízením	42
5.3 Ekonomické porovnání svařovacích časů technologie svařování	43
5.4 Zhodnocení nákladů a technického přínosu	45
6 Závěr	47
7 Seznam použité literatury.....	48
8 Seznam příloh	50

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotky
a.s.	Akciová společnost	-
AS	Autorizovaná společnost	-
C	Množství uhlíku	[%]
ČSN	Česká technická norma	-
ČSN EN	Česká verze evropské normy	-
DIN	Německá národní norma	-
I	Svařovací proud	[A]
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)	-
MAG	Metoda poloautomatického svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou v aktivním plynu	-
MIG	Metoda poloautomatického svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou v inertním plynu	-
Mn	Mangan	[%]
NDT	Nedestruktivní zkoušení	-
Oper	Operace	-
P	Příkon svářečky	[kW]
PA	Poloha svařování – vodorovná shora	-
PB	Poloha svařování – vodorovná šikmo shora	-
PC	Poloha svařování – vodorovná	-
PD	Poloha svařování – vodorovná šikmo nad hlavou	-
Si	Křemík	[%]
Ta1	Jednotkový čas práce	[min]
Tap	Jednotkový čas přípravný	[min]
Tas	Jednotkový čas strojní	[min]
Tbp	Dávkový čas přípravný	[min]
Tbs	Dávkový čas strojní	[min]
U	Svařovací napětí	[V]
WPQR	Kvalifikace postupu svařování	-
WPS	Specifikace postupu svařování	-
WM	Weld map – svařovací mapa	-

d	Průměr svařovacího drátu	[mm]
pWPS	Předběžná specifikace postupu svařování	-
v_d	Rychlost podávání svařovacího drátu	[m/min]
vs	Velikost svaru	-
v_{sv}	Rychlost svařování	[cm/min]
t	Tloušťka	[mm]
t_{sv}	Čas svařování	[s]

Úvod

Strojírenská firma UNEX a.s. se zabývá výrobou odlitků, výkovků a svařovaných konstrukcí různých velikostí včetně opracování, povrchové úpravy a montáže. Mezi koncové zákazníky patří zejména výrobci strojů a zařízení z odvětví zemědělství, energetiky, automobilového, železničního, stavebního, transportního, důlního nebo námořního průmyslu. Podstatná část výrobků až 80 % vyrobených výrobků směřuje do zahraničí.

V oblasti svařovaných konstrukcí je na trhu mnoho firem, které se tímto výrobním portfoliem zabývají. Proto tyto firmy musí učinit určité kroky v modernizaci portfolia výrobního zařízení a technologie, aby byly na trhu konkurenceschopní. V dnešní době je kladen velký důraz ze strany koncových zákazníků na cenu, kvalitu a termín dodání výrobku. Technické vybavení, technologie výroby a kvalifikace pracovníku mají významný podíl na splnění těchto požadovaných kritérií.

Svařování pomocí průmyslového robotického zařízení na současném trhu patří mezi nejdůležitější výrobní technologie v oblasti strojírenství. Své zastoupení má hlavně v automobilovém průmyslu s podílem více než 70 % celosvětové výroby. Mezi nejčastější operace průmyslových robotů patří manipulace s polotovary, broušení, leštění, povlakování, měření, montáž, řezání, svařování atd. Svařování za pomoci robotického zařízení díky své flexibilitě, rychlosti svařování, vysoké kvalitě svarového spoje, přesným a čistým provedením je s ručním svařováním nesrovnatelné.

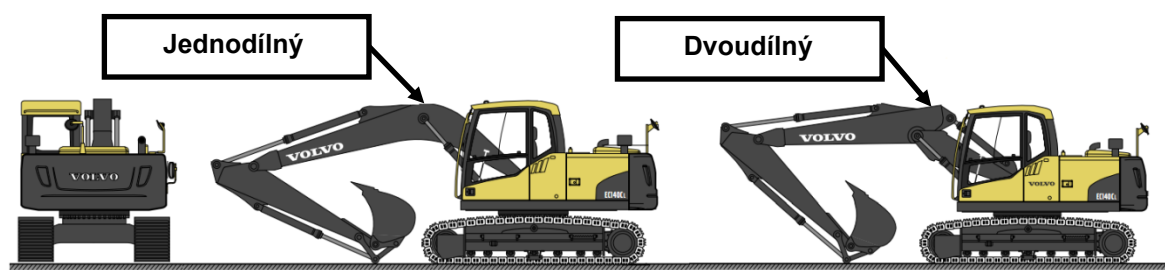
Tato bakalářská práce se zabývá oblastí svařování výložníků rýpadel. Jsou zde navrženy varianty vhodných robotických svařovacích zařízení, kterými lze svařovat výložníky a výrobky podobných konstrukcí, jejich vlastnosti a využití. Je vybrán nejvhodnější návrh pracoviště pro svařování výložníků, který je následně detailně popsán společně s návrhem technologického postupu svařování robotizovaným zařízením a současně s předběžnými návrhy specifikacemi postupu svařování. Výsledkem dosažených cílů by měl být technickoekonomický přínos ve svařování výložníků a navrhovaná technologie by měla sloužit i pro ostatní výrobky s podobnou koncepcí.

1 Rozbor současné technologie svařování výložníků

Výroba výložníku se provádí ve firmě sídlící v Uničově, kde se v současné době firma a její specializované oddělení mechanizace zabývá výrobou svařenců z běžné konstrukční oceli, oceli s vyšší mezí kluzu typu WELDOX a otěruvzdorné oceli typu HARDOX včetně strojního obrábění, povrchových úprav a montáže s hmotností svařence až 50 tun. Mezi typické představitele výroby patří ocelové svařence, díly podvozků, horní rámy, rámy vozíku, korby, výložníky a násady. Firma zaměstnává v průměru okolo 1 600 zaměstnanců a disponuje unikátními výrobními kapacitami s více než 250 000 m² výrobních a skladovacích ploch ve třech specializovaných, vzájemně spolupracujících závodech. Svářečská pracoviště jsou vybavena ručními svářečkami KEMPPI, svařovacími roboty MOTOMAN a FANUC, a svařovacím automatem FRONIUS. Firma je držitelem certifikátů od TÜV SÜD Czech s.r.o. dle EN 1090-1 třída EX4, od GSI SLV München dle DIN 18800-7 třída E a svářečský personál splňuje kvalifikaci dle normy EN 287-1. [1]

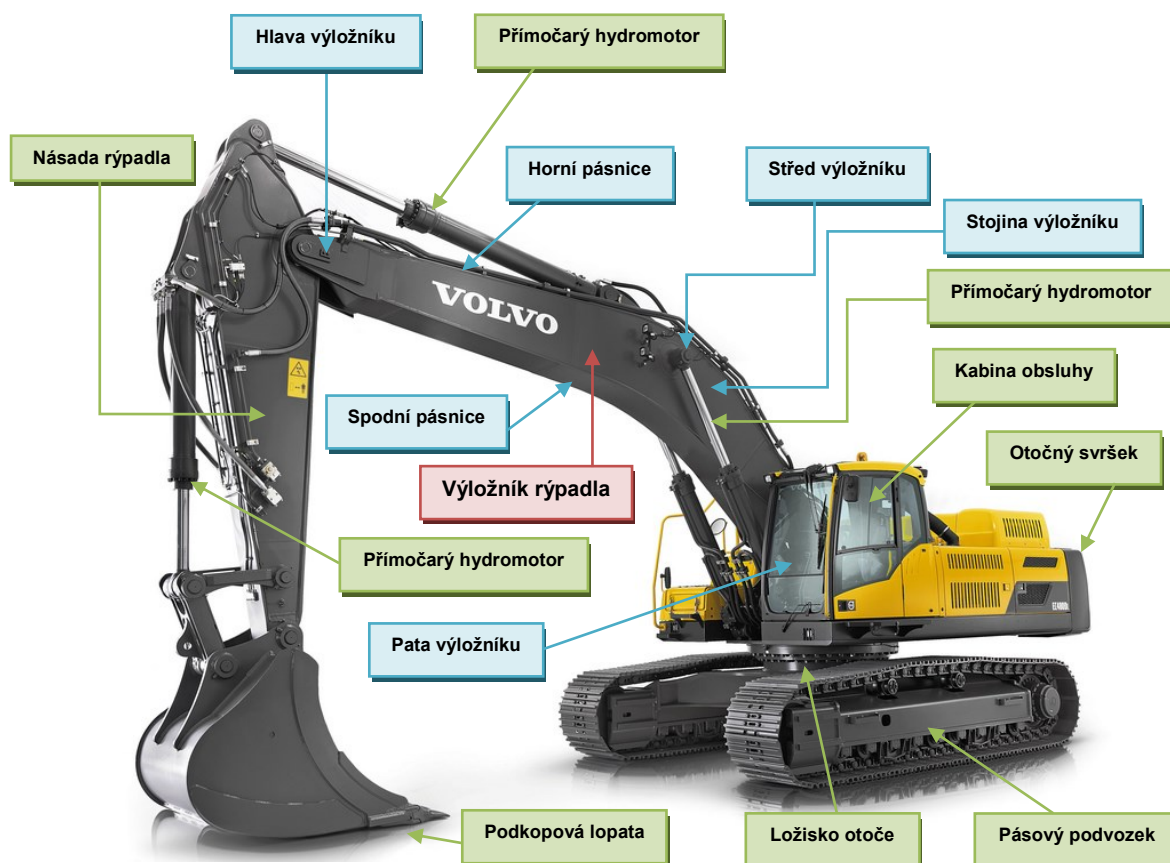
1.1 Údaje o svařovaném výložníku

Výložník patří mezi hlavní základní části bagru na pásovém nebo kolesovém podvozku. Jednotlivé části jsou upevněny k rámu stroje za pomoci čepů a pohyblivých hydraulických válců. Z pravidla bývá jednodílný (*obr. 1*), který je svoji charakteristikou jednodušší na výrobu, levnější a hlavně díky svému řešení spolehlivější na svoji životnost. Dvoudílný výložník umožňuje svým tvarem větší rozsah pohybů při hloubení v sevřených jamách a to i pod strojem.



Obr. 1 - Porovnání jednodílného a dvoudílného výložníku. [2]

Základními částmi výložníku (obr. 2), jehož tvar se liší v závislosti na použití stroje, jsou zpravidla tři průběžné přesné otvory. Hlavní otvory jsou řešeny na krajních částech výložníku. Většinou širší strana, tzv. pata výložníku je připevněna k otočnému svršku pomocí čepu. Stejným způsobem je uložena tzv. hlava výložníku k násadě. Pohyb výložníku, násady a podkopové opaty zajišťují přímočaré hydromotory. Na konci násady může být namontováno přídatné zařízení různých typu velikostí a jeho použití.



Obr. 2 – Základní části pásového rýpadla VOLVO EC480D. [3]

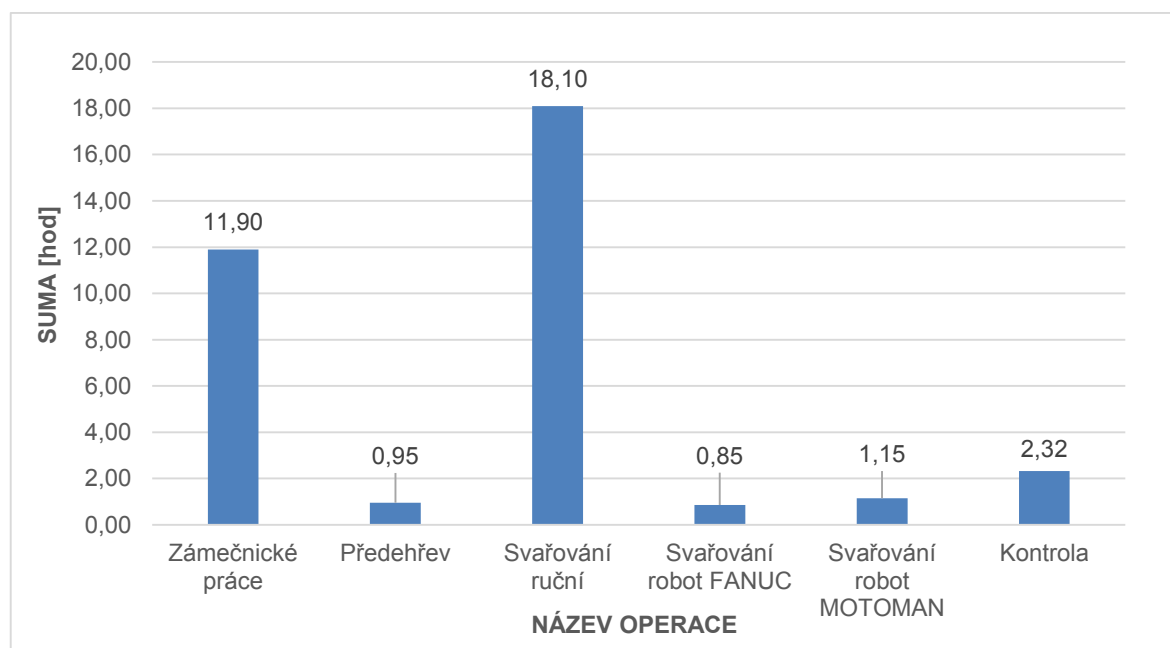
Výložník je vyroben z nelegované konstrukční oceli jakosti S355J2+N dle normy EN 10025-2 a její svařitelnost je zaručena. Vyrábí se v sériové výrobě a svařování je řešeno z 10 % robotizovanými zařízeními MOTOMAN a FANUC metodou 135-MAG dle normy EN ISO 4063 a 90 % ruční metodou 135-MAG na svařovacím zařízení KEMPPPI. Bočnice hlavy a podsestava hlavy výložníku jsou svařovány pomocí svařovacích robotů. Ostatní díly se skládají v přípravku, kde se nastehují a následně se sestehovaný výložník upne do polohovadla, kde je kompletně ručně svařen. Veškerá manipulace s jednotlivými díly a sestehovaného výložníku se provádí za pomoci konzolových a mostových jeřábů.

Celkový čas svaření jednoho výložníku

Výrobní čas jednoho výložníku s přílozkami a drobných držáků, který je podrobně rozepsán v tabulce 1, trvá 35,3 hodin a je graficky vyobrazeno v grafu (obr. 3). Celkový čas tvoří doba zámečnické práce, předeřev, svařování ruční, svařování na jednotlivých robotických pracovištích a kontroly po jednotlivých operacích. Čas pro drážkování jednotlivých svarů je započítán ve vystavených minutách svařování a manipulace s jednotlivými díly u jednotlivých operací. Zkoumaný čas ručního svařování činí 18,1 hodin. Tento čas svařování vychází ze současného technologického postupu svařování výložníku (příloha A) a je podrobně rozepsán v normovém listu (příloha B).

Tabulka 1 – Přehled současných výrobních časů svařování výložníku

Název operace	Výložník celek [min]	Hlava výložníku [min]	Střed výložníku [min]	Suma [min]	Suma [hod]
Zámečnické práce	411,1	150,8	152,1	713,99	11,90
Předeřev	24,0	0,0	32,8	56,77	0,95
Svařování ruční	556,5	0,0	529,5	1086,02	18,10
Svařování robot FANUC	0,0	51,0	0,0	51,00	0,85
Svařování robot MOTOMAN	0,0	69,0	0,0	69,00	1,15
Kontrola	105,0	27,0	7,0	139,00	2,32
Celková pracnost současné technologie svařování [hod]:					35,3



Obr. 3 - Rozbor času jednotlivých operací u současné technologie svařování.

1.2 Současná technologie svařování

V současné době se výložník svařuje metodou svařování 135 (MAG) [4], neboli obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu. Metoda je kvalifikovaná postupem svařování WPQR a je hodnocena jako vyhovující. Jednotlivá provedení svarů jsou vyspecifikovaná v příslušných WPS, které jsou obsaženy ve svařovací mapě WM 06-004 (příloha C).

Přídavný materiál

Od složení svarového kovu se odvíjí složení přídavného svařovacího drátu. Závisí na jednotlivých chemických prvcích a to na obsahu uhlíku C, manganu Mn a křemíku Si. Důležité jsou i jeho mechanické, fyzikální, chemické a technologické vlastnosti. U svařování výložníku je použit přídavný materiál jakosti G3Si1 dle EN ISO 14341A (pod obchodním názvem ESAB OK Aristorod 12.50 [5] a OERLIKON Carbofil 1 [6]). Používá se při svařování většiny běžných nelegovaných konstrukčních a jemnozrnných ocelí s mezí kluzu do 420 [MPa] a pevností v tahu do 530 [MPa], pro heterogenní spoje typu S690QL+S355J2, pro otěruvzdorné plechy typu HARDOX 400, HARDOX 400+S355 pokud v místě svaru není požadavek na zachování mechanických vlastností základního materiálu (otěruvzdornost).

Jednotlivé parametry svařování

a) Koutový svar

Způsob označování svarů je dle normy ČSN EN 22 553 [7] pod značkou „a“ (*obr. 4*). Jeho poloha svařování je PB dle ČSN EN ISO 6947 [8]. První housenka je vařena svařovacím proudem 270 [A] a napětím 28 [V]. Druhá housenka a další jsou vařeny svařovacím proudem 218 [A] a napětím 23 [V]. Provedení svaru je specifikováno ve WPS číslo 35-B2 12, která je součástí svařovací mapy WM 06-004 (příloha C).

b) V-Svar na podložku

Jedná se o úkosový V svar s požadavkem na plný průvar (*obr. 4*). Jeho poloha svařování je PA dle ČSN EN ISO 6947. První kořenová housenka je vařena svařovacím proudem 125 [A] a napětím 18 [V]. Druhá a další housenky jsou vařeny svařovacím proudem 290 [A] a napětím 30 [V]. Provedení svaru je vyspecifikováno ve WPS číslo 35-B2 21, která je součástí svařovací mapy WM 06-004.

c) V, ½ V - Svar

Jedná se o úkosový V svar s požadavkem na plný průvar (*obr. 4*). Oproti V, ½ V svaru předepsaného ve WPS 35-B2 21 se liší zvětšenou mezerou pro svar. Jeho poloha svařování je PA dle ČSN EN ISO 6947. První kořenová housenka je vařena svařovacím proudem 125 [A] a napětím 18 [V]. Druhá a další housenky jsou vařeny svařovacím proudem 290 [A] a napětím 30 [V]. Provedení svaru je specifikováno ve WPS číslo 35-B2 31, která je součástí svařovací mapy WM 06-004.

d) Y, ½ Y - Svar

Jedná se o úkosový Y svar bez požadavku na plný průvar (*obr. 4*). Jeho poloha svařování je PA dle ČSN EN ISO 6947. První kořenová housenka je vařena svařovacím proudem 170 [A] a napětím 23 [V]. Druhá a další housenky jsou vařeny svařovacím proudem 295 [A] a napětím 31 [V]. Provedení svaru je specifikováno ve WPS číslo 35-B2 81, která je součástí svařovací mapy WM 06-004.

e) Koutový svar

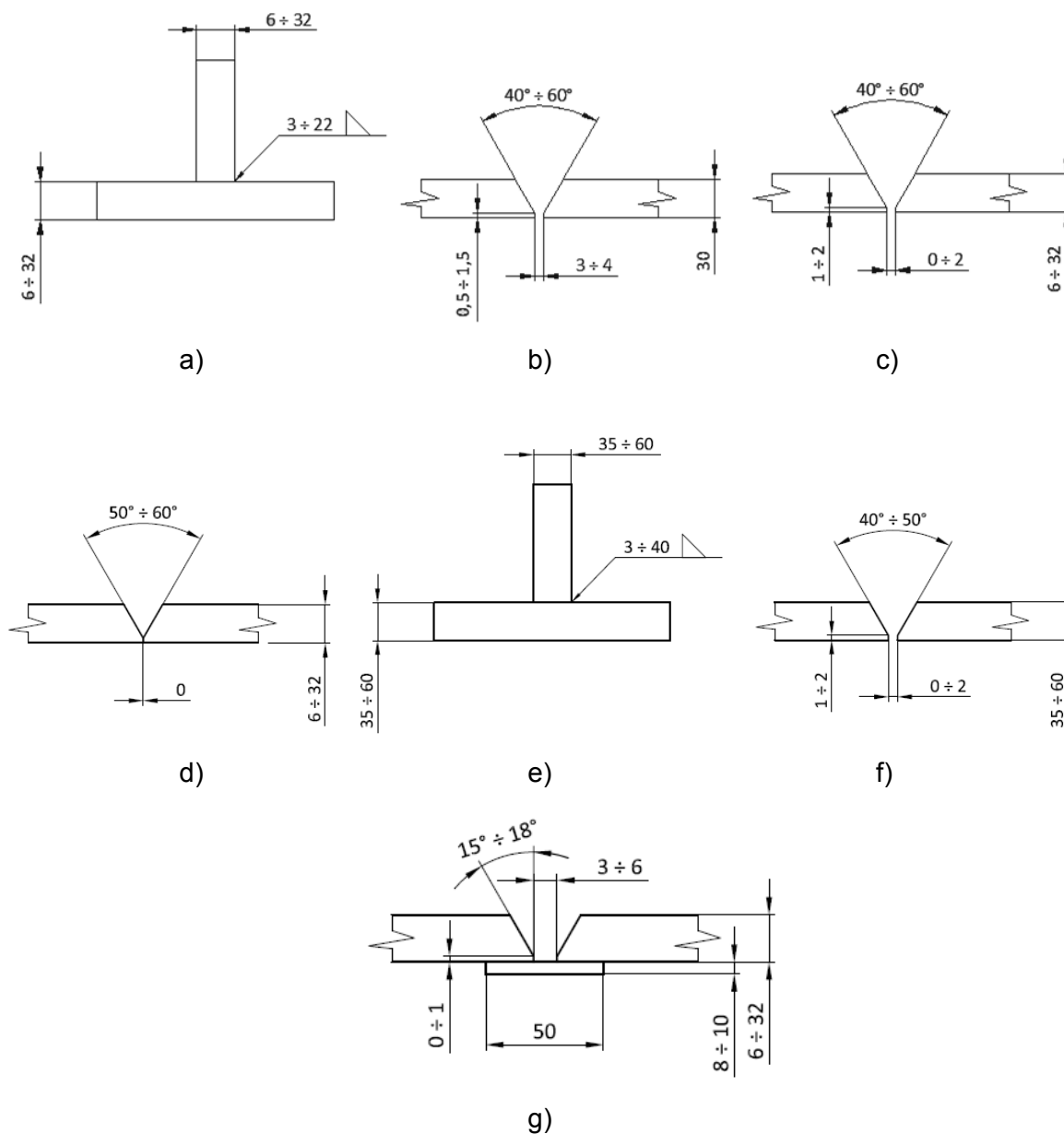
Způsob označování velikosti koutových svarů je dle normy ČSN EN 22 553 pod značkou „a“ (*obr. 4*). Oproti koutovému svaru předepsaného ve WPS 35-B2 12 se liší v použití pro větší tloušťky materiálu, zejména pro svařování odlitku v patě výložníku a v centrálním náboji uloženého ve středu výložníku. Jeho poloha svařování je PB dle ČSN EN ISO 6947. První housenka je vařena svařovacím proudem 270 [A] a napětím 28 [V]. Druhá housenka a další jsou vařeny svařovacím proudem 218 [A] a napětím 23 [V]. Provedení svaru je specifikováno ve WPS číslo 35-B2 12, která je součástí svařovací mapy WM 06-004.

f) V, ½ V - Svar

Jedná se o úkosový V svar s požadavkem na plný průvar (*obr. 4*). Oproti V, ½ V svaru předepsaného ve WPS 35-B2 31 se liší v použití pro větší tloušťky materiálu, zejména pro svařování odlitku v patě výložníku. Jeho poloha svařování je PA dle ČSN EN ISO 6947. První kořenová housenka je vařena svařovacím proudem 125 [A] a napětím 18 [V]. Druhá a další housenky jsou vařeny svařovacím proudem 290 [A] a napětím 30 [V]. Provedení svaru je specifikováno ve WPS číslo 35-B3 31, která je součástí svařovací mapy WM 06-004.

g) V, ½ V – Svar na podložku

Jedná se o úkosový V svar s provedením na podložku a požadavkem na plný průvar (obr. 4). Jeho poloha svařování je PA dle ČSN EN ISO 6947. První kořenová housenka je vařena svařovacím proudem 125 [A] a napětím 18 [V]. Druhá a další housenky jsou vařeny svařovacím proudem 290 [A] a napětím 30 [V]. Provedení svaru je specifikováno ve WPS číslo 35-B2 31, která je součástí svařovací mapy WM 06-004.



Obr. 4 – Přípravy svaru dle jednotlivých WPS: a) Koutový svar, b) V, ½ V svar na plný průvar, c) V, ½ V svar na plný průvar, d) Y, ½ Y svar bez požadavku na plný průvar, e) Koutový svar na svařování odlitků, f) V, ½ V svar na plný průvar pro svařování odlitků, g) V, ½ V svar na podložku s požadavkem na plný průvar.

Svařovací zařízení

Použité svařovací zařízení se skládá ze svařovacího zdroje, mechanismu pro podávání tavicí se elektrody, vedení drátu, svařovacího hořáku, řídicí jednotky, zásobníku drátu, zásobníku plynu, chladicí jednotky, soustavy vodičů elektrického proudu, soustavy hadic pro rozvod ochranného plynu a chladicí vody, bezpečnostních a ochranných prvků.

Svařovací zařízení pro ruční svařování KEMPPI

Jedná se o základní svařovací zdroj (obr. 5) s odděleným podáváním drátu pro metodu MIG/MAG. Díky svému robustnímu podávacímu systému drátu je jeho použití jednoduché a spolehlivé, čímž zaručuje excelentní výsledky. Lehký podavač obsahuje ovládání chráněné proti poškození. Podavač je namontován na zdroj s potřebnou délkou mezikabelů. Mezi hlavní výhody patří robustná konstrukce, jednoduchá regulace výkonu, změna dynamiky oblouku a skloněný úhel hořáku ke zvýšení kvality. Svářeč si může vybrat požadované napětí na přepínači a poté přizpůsobit rychlost podávání drátu.



Obr. 5 - Svařovací zařízení značky KEMPPI řada WeldForce. [9]

Svařovací zařízení pro robotické svařování značky FANUC

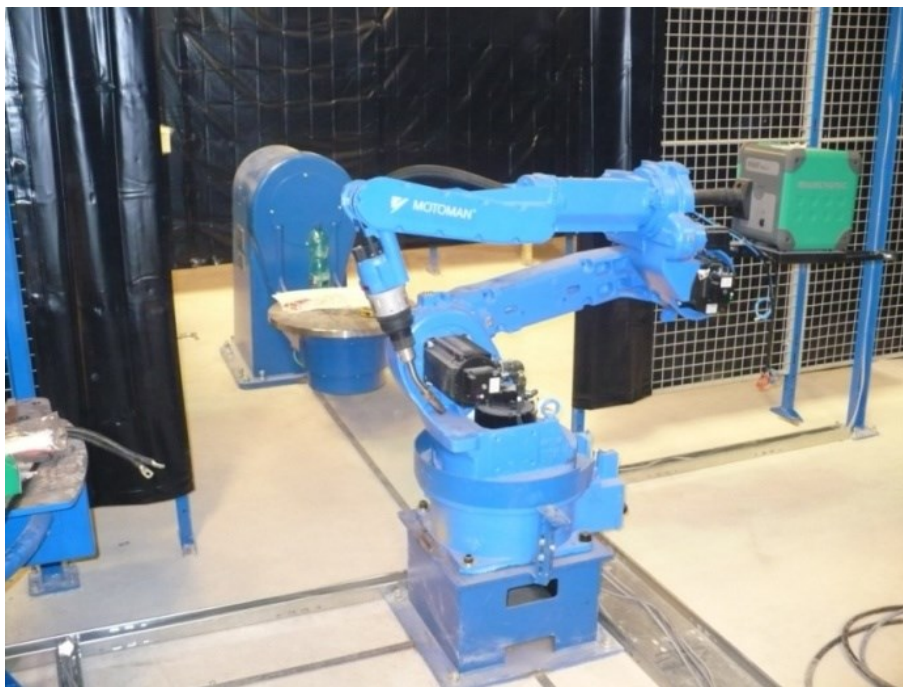
Robotizované pracoviště je tvořeno šestiosým robotem typu ARC Mate 120iB (obr. 6). Vzhledem k jednoduché konstrukci je robot určen pro přesné a velmi rychlé svařování. Robot je ovládán zařízením R-J3iB se snadno ovladatelným softwarem Arc Tool, který je standardně dodáván pro sérii ARC Mate robotů a poskytuje spolehlivý výkon s vysokou produktivitou. Robot dále nabízí extrémně rozsáhlý pracovní prostor použitelný pro velké díly nebo složité přípravy. Robot je navržen s vnějším zabudovaným plynovým/vzduchovým vedením a kabelem podavače drátu. Obsahuje vyspělou funkci Turbo Move, která umožňuje rychlý a plynulý pohyb z bodu do bodu, což zvyšuje podíl času hoření oblouku a výkon. [10]



Obr. 6 - Robotizované pracoviště FANUC ve firmě UNEX a.s.

Svařovací zařízení pro robotické svařování značky MOTOMAN

Robotizované pracoviště je tvořeno šestiosým robotem typu EA1900 (obr. 7) s delším dosahem ramene. Robot je umístěn mezi otočným stolem Motoman R-500 a horizontálním polohovadlem typem Motoman WG35. Otočný stůl a horizontální polohovadlo tvoří tzv. pracovní místo robotizovaného pracoviště. Pracovní místo je zabezpečeno bezpečnostní optickou závorou SICK proti nežádoucímu vstupu obsluhy k otočnému stolu nebo k horizontálnímu polohovadlu v průběhu jejich otáčení. Dále je vybaveno svařovacím zařízením od firmy Migatronic typu SIGMA 500 s velkým výkonem (při 100% má svářečka zatěžovatel 420 A). Svařovací stroj umožňuje svařování všech metodou MIG/MAG svařitelných základních materiálů, včetně možnosti impulsního přenosu svarového kovu. Robot je vybaven funkcí COMARC MultiLayer pro možnosti vyhledávání jak startovací pozice svařovacího hořáku, tak také pro vyhledávání správné pozice svaru v průběhu svařování u koutových svarů. [11]

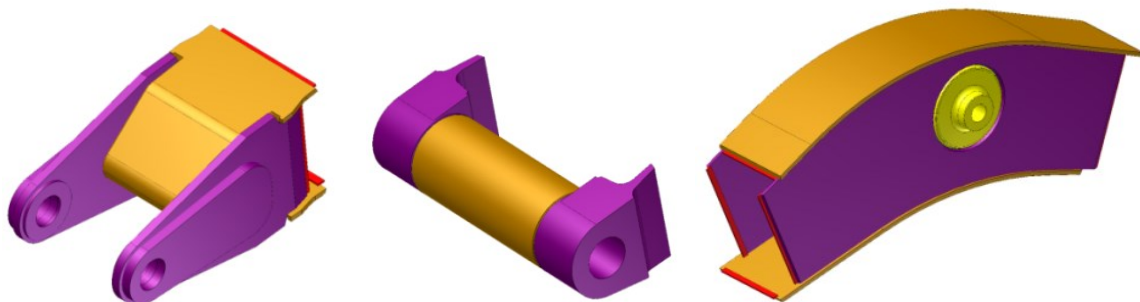


Obr. 7 - Svařovací robot MOTOMAN ve firmě UNEX a.s.

1.3 Postup sestavení a svařování výložníku

Označení jednotlivých detailních dílů, ze kterých se výložník skládá, je uvedeno na výkrese výložníku (příloha D). Svařence paty a středu výložníku jsou dodány zákazníkem. V první fázi se svařuje tzv. podsestava hlavy výložníku (obr. 8), která je svařena v přípravku za pomoci robotu FANUC, který svaří bočnice společně s vnějším a vnitřním zesílením. Následně jsou svařené bočnice vsunuty do přípravku, sestehovány a kompletně zavařeny na robotickém zařízení MOTOMAN (obr. 9).

V druhé fázi jsou svařená podsestava a dodávané svařence za pomoci manipulačních jeřábů přepraveny a vsazeny do stehovacího přípravku pro kompletní sestavení. Díly se v přípravku zajistí pomocí dorazů a utahovacích šroubů. Dále se do hlavy výložníku nastehují podložky pod svar, ustaví se spodní pásnice, ke které se přiloží bočnice (stojiny), vsunou se vnitřní žebra, která se kompletně zavaří a následně zakrytují horní pásnicí. Jednotlivé díly se nastehují společně s nájezdovými deskami z obou stran spodních i horních pásnic. Nájezdové desky slouží k výběhu svaru, aby byl svar na konci pásnice plynulý a v jedné rovině. Detailní postup sestavení je uveden v technologickém postupu v příloze A.



Obr. 8 - 3D zobrazení podsestav - zleva hlava výložníku, pata výložníku, střed výložníku.



Obr. 9 - Svařování bočnice hlavy výložníku (FANUC) a celkové hlavy výložníku (MOTOMAN).

Dle interního předpisu zákazníka se před svařením předehřívají plechy tloušťky větší než 30 [mm] na teplotu $80 \div 100$ [°C]. Postup předehřevu je odkazován na příslušné WPS k jednotlivým svarům. U posuzovaného výložníku je předehřev aplikován u paty výložníku a u středu výložníku na centrálním náboji. Předehřev je spočítán dle podnikového normativu.

Sestehovaný svařenec se zabezpečí v přípravku západkou proti posunu a vypadnutí svařence z polohovadla. Provede se kontrola svarových ploch, které musí být čisté, prosté rzi, mastnoty, okují, barvy či jiných nečistot. Postup svařování se řídí dle výkresové dokumentace a svařovací návodky. Dle výkresu se zavaří horní a spodní příčné svary, dále boční svislé svary, potom boční podélné svary a na závěr závěsná ucha držáků hydraulických válců na horní pásnici. Svary se musí svařovat souběžně, čili svar příčný nebo podélný na jedné straně musí být před dalším svarem proveden i svar na protější straně, aby nedocházelo k deformacím výložníku. Po zavaření se upálí nájezdové desky, které se společně s výběhy (výjezdy) a přechody svaru bezvrubě zabrousí.

1.4 Kontrola svarů

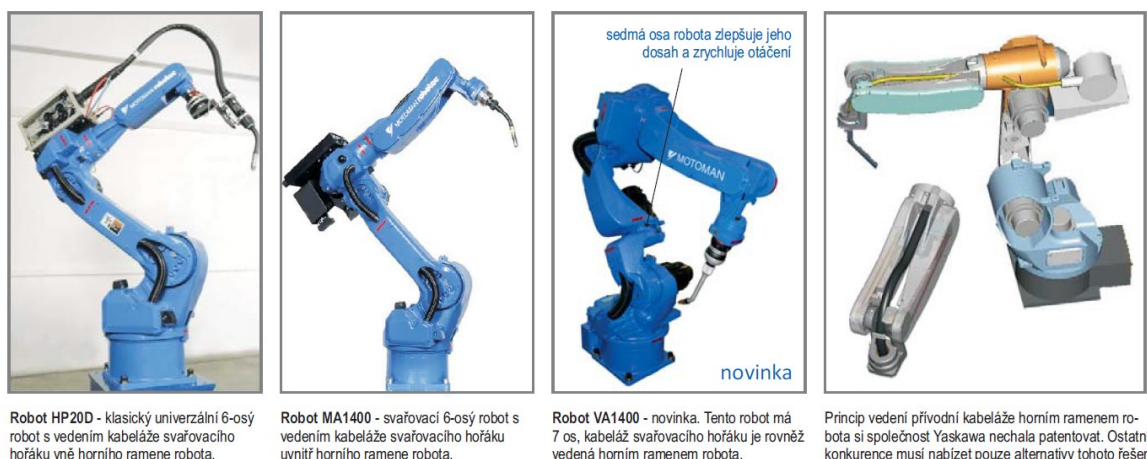
Po zavaření výložníku se provede nedestruktivní zkoušení svarů dle normy ČSN EN ISO 17635 [12], jejíž provedení je předepsáno v interním předpise zákazníka s odkazem na skupinu jakosti B dle normy ČSN EN ISO 5817 [13]. Obsahem této normy je kontrola vzhledu svarů, velikosti svarů a kvality napojení svarových housenek. Dále je u svařence požadována zkouška ultrazvukem (UT) u plně provařených $\frac{1}{2}$ -V svarů. Kontrola ultrazvukem je předepsána normou ČSN EN ISO 17640 [14]. Dle návaznosti předepsané normy na jakost svaru ve skupině B, odpovídá stupeň přípustnosti 2 dle normy ČSN EN ISO 11666 [15]. Jakost svaru musí odpovídat vyhodnocovacímu kritériu svaru. Vnitřní vady ve svarech nejsou přípustné. Kontrolu svaru provádí kvalifikovaný pracovník defektoskopie.

2 Studie vhodných zařízení pro robotické svařování výložníků

Existuje řada zařízení pro svařování, které lze použít pro námi zkoumaný výložník. Pro robotické svařování výložníku byly vybrány tři zařízení, které připadají v úvahu, vzhledem k použitelné technologii svařování. Každé z těchto zařízení má své výhody, nevýhody a důležitým aspektem jsou náklady spojené s investicí do vybraného zařízení. Tato zařízení pro robotické svařování jsou dále podrobně popsány.

2.1 Základní charakteristika svařovacího robota

Technologie robotického svařování využívá zejména šestiosé svařovací roboty (3 osy pro polohování a 3 osy pro orientaci). Klasický univerzální robot má vedení kabeláže svařovacího hořáku vně ramene robota. Oproti tomu speciální svařovací robot má integrovanou kabeláž svařovacího hořáku uvnitř horního ramene. Výhodou vnitřní kabeláže je až pětinasobně vyšší životnost svařovací kabeláže či možnost nekonečného otáčení svařovacího hořáku kolem své osy. Tyto výhody se uplatňují na lepších dosazích a ve stísněných místech svařování. V současné době v oblasti svařování nachází velké uplatnění svařovací roboti se sedmou osou otáčení. Tato osa umožňuje zalomení svařovacího hořáku do velmi nepřístupných míst, kde by dosah šestiosého svařovacího robota byl omezený. Základní rozdělení typů svařovacích robotů je vyobrazeno na obr. 10. [16]



Obr. 10 – Základní rozdělení typů svařovacích robotů a princip vedení kabeláže v horním ramenní robota společnosti YASKAWA (MOTOMAN). [16]

Svařovací robotické zařízení se používá hlavně v sériové výrobě, kde je zaručena jeho vysoká produktivita. Je určeno pro výrobní linky a náročné provozy, například v automobilovém průmyslu. Má vyšší nároky na prostor a na svoji údržbu. Dodávky a montáže strojů pro robotické svařování zajišťují specializované firmy, které vybudují robotické pracoviště dle požadavku specifikace vyráběného portfolia na daném svařovacím robotu. Součástí svařovacího robota bývá zpravidla i polohovadlo, které splňuje různé varianty upnutí, polohy a širokou škálu nosností. Pro svařování objemných svařenců se používají pojezdové dráhy současně s možností zavěšení robota, tzv. portálů.

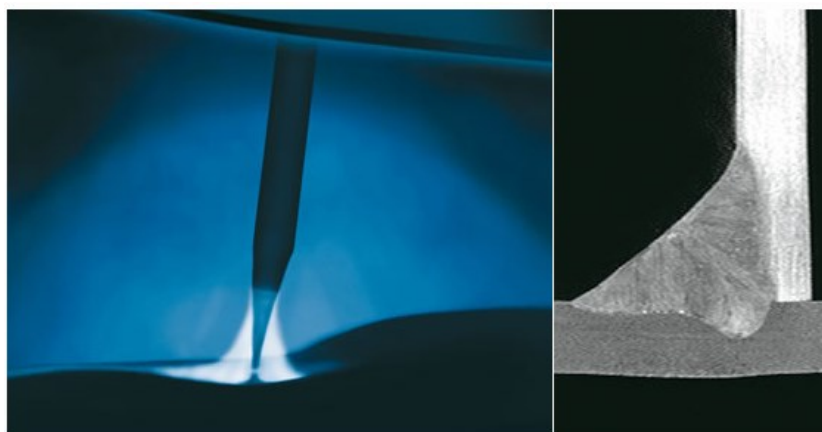
Bezpečnost robotických pracovišť musí být zajištěna tak, aby robot případně polohovadlo nepřišlo při práci do styku s obsluhou. Tato bezpečnost je zajištěna tzv. pasivními prvky, jako je např. oplocení nebo elektronické systémy.

2.2 Proces svařování vysokovýkonným obloukem

Jedná se o svařovací proces, který je označován jako „**forceArc**“ u společnosti EWM Group, nebo jako „**RapidWeld**“ u společnosti Cloos. Tento svařovací proces se prezentuje díky své přednosti tam, kde jsou zapotřebí velké výkony odtavení a optimální hloubky závaru při vysoké rychlosti svařování. Je vhodný jak pro ruční, tak i pro automatizované svařování v odvětvích, jako je těžký průmysl ocelových konstrukcí, konstrukce lokomotiv, stavby lodí a kontejnerů, apod. [17]

Hlavní výhody

- ✓ Menší úhel otevření svaru, menší počet vrstev, hospodárné svařování
- ✓ Spolehlivé provaření kořene při ideální geometrii svarů
- ✓ Malé tepelně ovlivněné oblasti, redukované přivádění tepla
- ✓ Směrově stabilní klidný oblouk i v úzkých a malých spárách
- ✓ Minimální tvorba rozstříku, redukce vrubů a škodlivin - méně kouře ze svařování



Obr. 11 - Detail procesu svařování Rapid Weld (vlevo) a makrostruktura provedení koutového svaru (vpravo). [17]

Tabulka 2 – Technické parametry procesu svařování Rapid Weld [17]

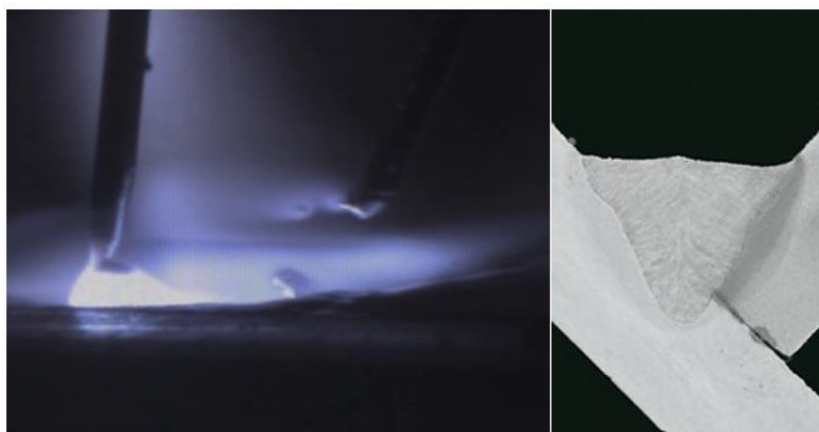
Technické údaje	
Drát Ø [mm]	1,2
Podávání drátu v_d [m/min]	12,5
Rychlost svařování v_{sv} [cm/min]	52
Napětí U [V]	33
Proud I [A]	360
Tloušťka plechu [mm]	10,0 / 10,0

2.3 Proces tandemového svařování

U tandemového svařování se svedou dohromady speciálně koncipovaným svařovacím hořákem dva zvlášť dopravované svařovací dráty do tavné lázně, které se odtavují ve dvojitém elektrickém oblouku. Pro tento proces elektrického oblouku je nutná synchronizace dvou výkonných, mikroprocesorem řízených impulsních svařovacích přístrojů. Tato technologie je vhodná pro svařování vysocepevnostních ocelí, hliníku, chromniklových materiálů a povrstvených plechů. Tento svařovací proces disponuje vysokou rychlostí svařování **až 140 [cm/min]**. [17]

Hlavní výhody

- ✓ Extrémně vysoká rychlost svařování a výkon odtavení
- ✓ Vynikající kvalita svaru a minimální riziko tvorby pórů
- ✓ Minimální tepelný příkon
- ✓ Optimální řízení oblouku



Obr. 12 – Detail procesu tandemového svařování (vlevo) a makrostruktura provedení koutového svaru (vpravo). [17]

Tabulka 3 – Technické parametry procesu svařování Tandem Weld [17]

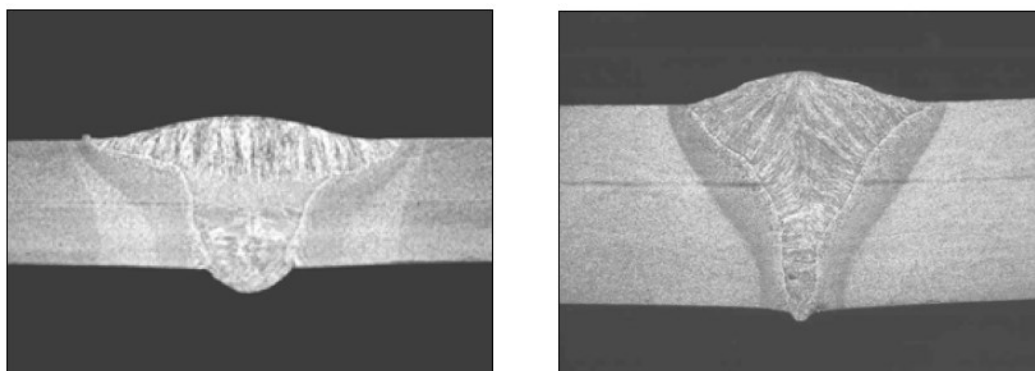
Technické údaje	
Drát Ø [mm]	1,2
Podávání drátu v_d [m/min] (1. drát / 2. drát)	19,1 / 9,0
Rychlost svařování v_{sv} [cm/min]	až 140
Napětí U [V] (1. drát / 2. drát)	35,5 / 29
Proud I [A] (1. drát / 2. drát)	445 / 240
Tloušťka plechu [mm]	8,0 / 8,0

2.4 Proces svařování LaserHybrid

Jedná se hybridní systém ve spojení dvou technologií, a to laseru a svařování MIG (Metal Inert Gas Welding – obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu). Využívá velice hlubokého, dobře regulovaného závaru laserového paprsku s relativně velkým objemem odtaveného materiálu při svařování metodou MIG. Postup této technologie spočívá v tom, že laserový paprsek zajišťuje dostatečný přísun tepla a to přímo do tavné lázně svařovaného materiálu. Následně dochází k přísunu přídavného materiálu a ke svařování metodou MIG. Toto vzájemné působení dvou variant technologií může mít různou intenzitu i charakter. Dle použití může převažovat charakter laserový nebo charakter elektrického oblouku. Za pomoci tohoto systému lze svařovat hliník, ocel, pozinkovanou ocel a ušlechtilé oceli. V tomto systému je důležitá jak vysoká rychlost, tak i dobrá schopnost překlenovat mezery. Obojí však nelze za použití konvenčních svařovacích postupů realizovat. [17]

Hlavní výhody

- ✓ *Vyšší produktivita díky vyšší rychlosti svařování*
- ✓ *Nížší náklady pro přípravu svarových ploch u silnějších plechů*
- ✓ *Menší náklady až o 70% na svarový materiál*
- ✓ *Vysoká hloubka průniku laserového paprsku*
- ✓ *Menší deformace vlivem nízkého vnesení tepla do svarového spoje*
- ✓ *Stabilní průběh svařování*



Obr. 13 – Porovnání snímků makrostruktury svaru metodou MAG (vlevo) a LaserHybrid (vpravo). [17]

Tabulka 4 – Technické parametry procesu svařování LaserHybrid [17]

Technické údaje	
Drát Ø [mm]	1,2
Podávání drátu v_d [m/min]	10
Rychlost svařování v_{sv} [cm/min]	85
Napětí U [V]	27
Proud I [A]	260
Tloušťka plechu [mm]	12
Laserový výkon P [kW]	8,0 / 12,0

Svařovací hlava je umístěna na koncovém hrotu svařovacího robota. Do svařovací hlavy je přiveden laserový paprsek buď soustavou zrcadel, nebo optickým kabelem. MIG hořák je synchronizovaně napájen ze samostatného svařovacího zdroje MIG/MAG.



Obr. 14 – Svařovací hlava od firmy Fronius. [18]

3 Návrh pracoviště pro robotické svařování

Pracoviště pro robotizované svařování musí být sestavené vždy z těchto jednotlivých částí, které tvoří jeden celek [16]:

- Průmyslový robot 6-ti nebo 7-mi osový a pojezdová dráha,
- minimálně dvě horizontální polohovadla, která tvoří 7. nebo 8. osu robota,
- svařovací stroj s minimálním výkonem 420 [A] při 100% zatížením,
- automatická čistička svařovacího hořáku,
- nadřazený řídicí systém pro řízení celého robotizovaného pracoviště a zajištění nezávislého bezpečnostního okruhu a ovládání pracoviště přes ovládací pulty,
- bezpečnostní prvky zabráňující vstupu obsluhy do pracovního prostoru robota v průběhu jeho práce,
- elektricky zastírané zástěny, které zabrání ozařování okolí robotizovaného pracoviště v průběhu svařování,
- oplocení pracoviště.

Na robotizovaném pracovišti lze svařovat v podstatě jakýkoliv svařenec. Limitem je pouze dosah robota, velikost polohovadel a jejich nosnost. Robotizované pracoviště může pracovat v běžných dílenských podmínkách, tedy při teplotě od 12 [°C] do 45 [°C]. Podlaha dílny by měla být rovná, nejlépe betonová s potřebnou nosností podle typu robotizovaného pracoviště. Robotizované pracoviště by nemělo být umístěné vedle zdroje prachu, jako je například tryskač, brusírna kovů apod. Robotizované pracoviště by mělo mít samostatný jistící okruh elektrického napájení. Součástí svařovacího robota by měl být nadřazený řídicí systém s bezpečnostním okruhem, který zajišťuje správný sled fází a jejich přítomnost. Pokud se vyskytne problém s napájecí sítí, řídicí systém odpojí celé robotizované pracoviště od napájení. Po detekci správného napájení řídicí systém sám zapne přívod energie do několika sekund. [16]

Každé robotizované pracoviště musí splňovat určitou bezpečnost práce dle mnoha norem. Mezi základní splňující bezpečnostní podmínky patří [16]:

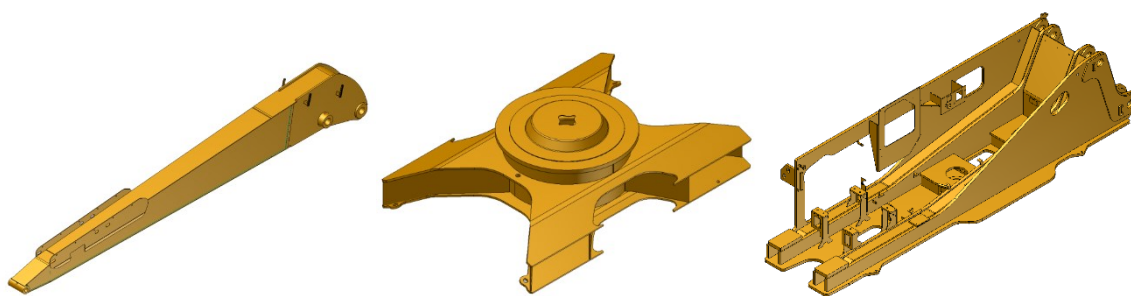
- Robot nesmí mít za žádných okolností možnost přijít při vykonávání práce do styku s obsluhou a ohrozit ji svým pohybem,
- robotizované pracoviště, které využívá polohovadla, musí mít prostor otáčení zabezpečen za pomoci optických závor,

- robotizované pracoviště musí být vybaveno nezávislým a nadřazeným nouzovým tlačítkem STOP nebo narušením optické bezpečnostní závory, které okamžitě zastaví jak otáčení polohovadel, tak pohyb robota i svařovací stroj,
- musí být zamezeno ozařování okolí obloukem, nejlépe automaticky ovládanými clonami,
- musí být dodrženo nařízení vlády č. 378/2001 Sb., kde je uvedeno, že každý uživatel nového strojního zařízení musí provést tzv. analýzu rizik obsluhy, na základě které pak musí sestavit tzv. místní bezpečnostní předpis. V tomto předpisu musí být nalezená rizika eliminována a předepsány prostředky pro eliminování těchto rizik.

Je nutné počítat s tím, že určitá část svarů nebude možné na robotizovaném pracovišti proveditelná. Obecně lze však uvažovat, že 95% veškerých svarů na pracovištích lze svařovat bez větších problémů. Pracoviště by měla být navrhována tak, aby většina svarů byla provedena v polohách PA a PB. Nelze však vyloučit, že malá část svarů bude provedena také v poloze PC a PD.

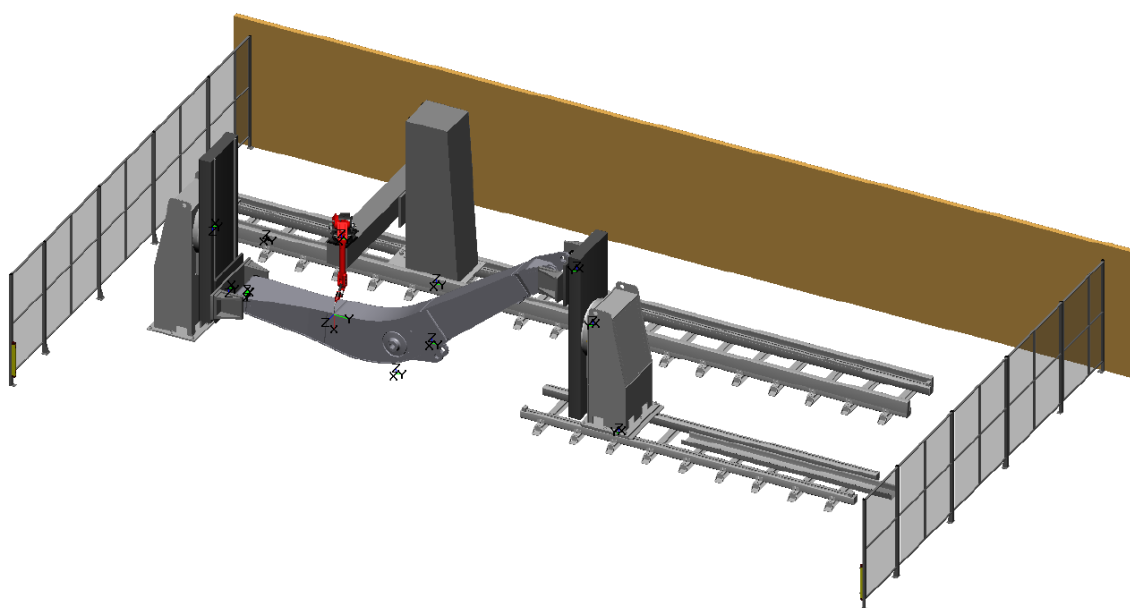
Vyhodnocení vhodného robotického pracoviště

Vhodnost jednotlivých navrhovaných pracovišť se odvíjí od počtu dílců a jejich časového horizontu, které lze na těchto pracovištích svařovat. Robotické pracoviště je možné použít na díly stejného charakteru, popřípadě rozměru menšího, než je průtočný průměr jednotlivých polohovadel. Vhodné díly pro svařování jsou vyobrazeny na *obr. 15*.



Obr. 15 – Vhodné díly pro svařování na robotickém pracovišti (vpravo – násada rýpadla; uprostřed – střední díl podvozku; vlevo – rám otočného svršku).

Byl proveden návrh několika možných variant pracovišť. Z důvodu současné využitelnosti robotického pracoviště byl vybrán návrh pracoviště (obr. 16), který obsahuje svařovacího robota na dlouhé pojezdové dráze se 4-osým polohovadlem s maximální nosností 3,5 t a délkou výrobku do 10 m. Toto pracoviště bude z velké části využito na svařování výložníků a výrobků stejného charakteru. Zvýšení využitelnosti robotického pracoviště lze docílit naleznutím vhodných svařovaných dílců a tím pádem zvýšit jeho produktivitu. Pro dosavadní výrobky je vybraný návrh robotizovaného pracoviště značně dostačující. Schématický výkres robotizovaného pracoviště je součástí přílohy E.



Obr. 16 – Zvolený návrh robotického pracoviště.

4 Návrh technologického postupu svařování robotizovaným zařízením

Po vyhodnocení navrhovaných robotizovaných zařízení byl vybrán pro robotické svařování výložníků jako nejvhodnější tandemový hořák, viz 2.2, a to díky použití dvou drátů se dvěma oblouky v jedné hlavě, kdy každý z těchto drátů může mít naprogramovány odlišné parametry. Např. první drát bude mít parametry k dosažení co největší hloubky průvaru, zatímco druhý naopak parametry pro širší oblouk poskytující dobrý povrch svarové housenky. Výkon ve vyvařeném kovu za čas může být v ideálních případech více jak dvojnásobný ve srovnání se svařováním jedním drátem. Flexibilita tandemového hořáku umožňuje na část svaru vypnout druhý oblouk např. v ostré zatáčce a po jejím překonání je následně druhý oblouk opět zapálen.

Standardní konfigurace robota dále obsahuje dotykové čidlo pro identifikaci polohy svaru a pak snímání parametrů oblouku, které slouží pro navádění hořáku uvnitř svarového prostoru. Jako nadstandardní snímač se dodává laserový snímač polohy svaru, který dokáže najít polohu svaru mnohem rychleji (3 s proti 30 s dotykového čidla), což přinese zkrácení neproduktivních časů, a navíc ještě dokáže spočítat objem svaru a podle něj nastavit optimální svařovací parametry.

4.1 Návrh technologického postupu

Navrhovaný technologický postup zahrnuje změnu z ručního svařování na svařování za pomoci robotizovaného zařízení tandemovým hořákem. Dle návrhu technologického postupu se uváděný výložník kompletně zavaří za 4,1 hodin. Tento čas obsahuje i svaření vnitřních žeber, čili svařování za použití navrhovaného robotického zařízení 3,42 hodin a ručního svařování vnitřních žeber 0,68 hodin. To znamená, že dle vystavené hmotnosti svařovacího drátu 100,7 kg, je průměrná rychlost svařování tandemovým hořákem a ručního svařování vnitřních žeber 24,6 kg za hodinu. Oproti tomu u ručního svařování, u kterého součet všech časů vystavených pro svařování jednotlivých sestav a podsestav činí 20,1 hodin, je průměrná rychlost svařování 5 kg za hodinu.

Tzn., že rychlost svařování za použití navrhované technologie tandemovým hořákem je až 5-ti násobně rychlejší, než současná technologie ručního svařování. Pro ověření skutečné doby svařování byla navržena sada zkušebních vzorků, které jsou zde podrobně popsány. Výkresová dokumentace pro jednotlivé zkušební vzorky je součástí přílohy F.

- **Vzorek A** zahrnuje svaření koutového svaru mezi bočnicí, horní a spodní pásnicí s požadavkem na provaření do hloubky min. 3 [mm].



Obr. 17 – Příprava zkušebního vzorku „A“.

- **Vzorek B** zahrnuje svaření $\frac{1}{2}$ -V svaru na plný průvar, kdy tvar lemování pásnice k bočnici vychází s nerovnoměrného uložení ohnuté pásnice a simuluje tím pádem možný stav, který může nastat při výrobě a zpravidla nastává.



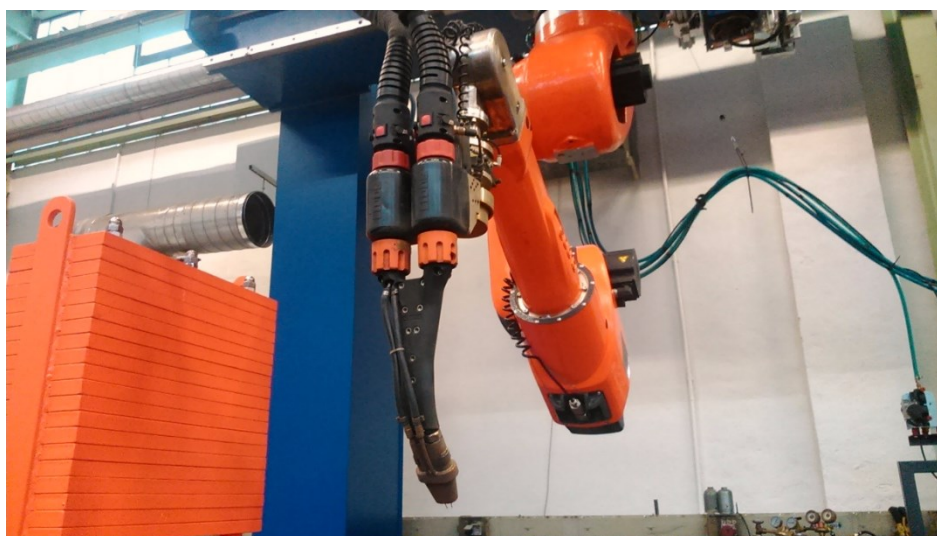
Obr. 18 – Příprava zkušebního vzorku „B“.

- **Vzorek C** zahrnuje zkoušku svaření centrálního náboje výložníku $\frac{1}{2}$ -V svarem na podložku, přičemž je centrální náboj mimo osu otvoru bočnice, aby se vyzkoušela případná zámečnická chyba ustavení, popřípadě výrobní vada výpalku a zhotovení úkosu pro svar.



Obr. 19 – Příprava zkušební vzorku „C“.

Jednotlivé zkušební vzorky byly sestehovány a převezeny ke zkušebnímu zavaření k renomovanému výrobcí robotických zařízení, který předvedl ukázkou možnosti robota a provedl následně zavaření zkušebních vzorků dle výkresové dokumentace.



Obr. 20 – Použité svařovací zařízení – tandemová hlava fy Cloos.

a) Svařování zkoušky „A“ robotickým zařízením technologií Tandem Weld

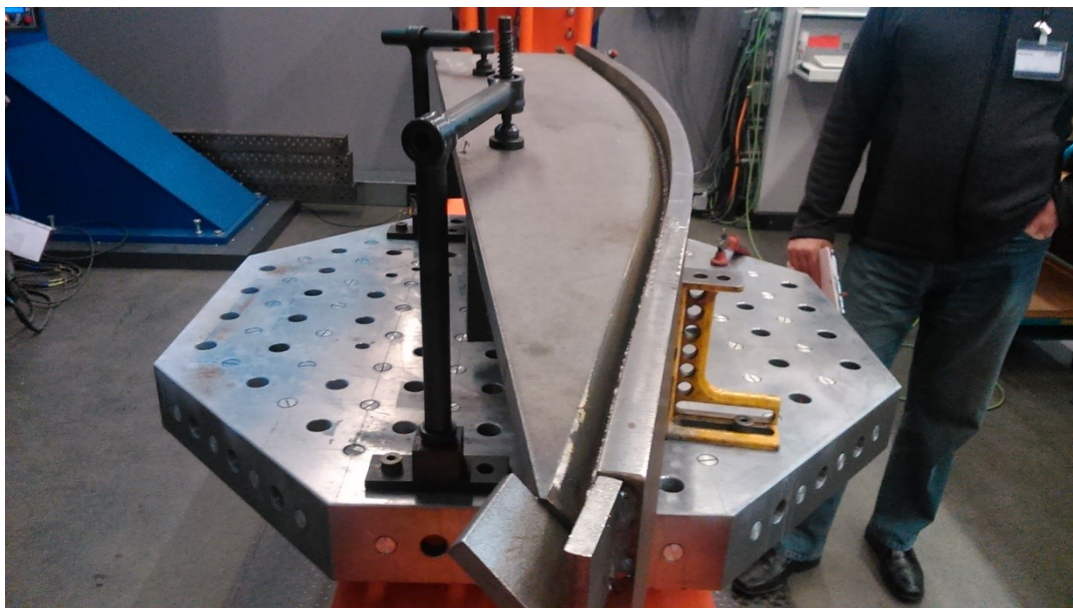


Obr. 21 - Zkouška „A“ po zavaření použitím technologie Tandem Weld

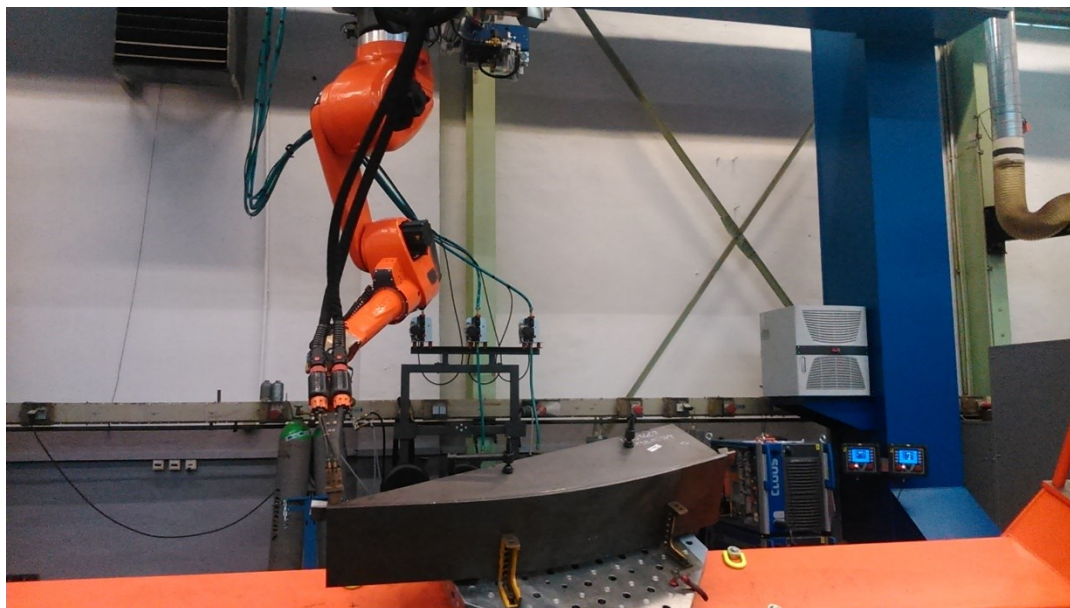
Tabulka 5 – Parametry svařování

Typ svaru	Housenka	Drát	Délka svaru [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost svařování [mm/s]	Doba svaření [min]	Doba pro 1m svaru [min]
Koutový svar	1.	První	1500	300 ÷ 325	25 ÷ 28	11	2,272	1,515
		Druhý		150 ÷ 175	20 ÷ 24			
	2.	První		420 ÷ 445	32 ÷ 36	15,8	1,582	1,055
		Druhý		230 ÷ 250	28 ÷ 30			

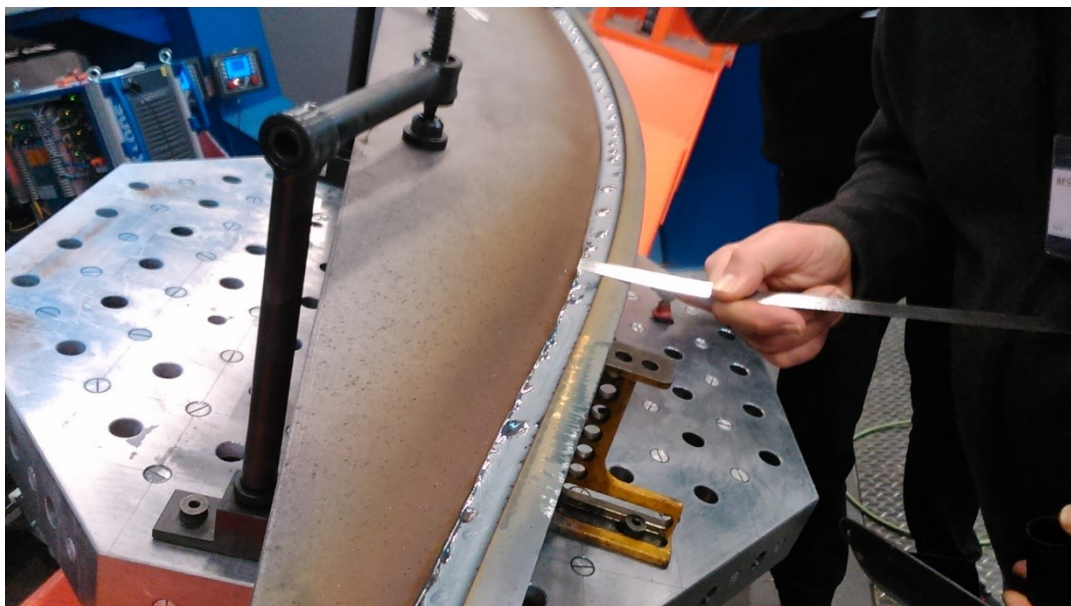
b) Svařování zkoušky „B“ robotickým zařízením technologií Tandem Weld



Obr. 22 – Příprava zkoušky „B“ pro svařování robotickým zařízením.



Obr. 23 – Zachycení počátečního místa robota před začátkem svařování zkoušky „B“.



Obr. 24 – Zkouška „B“ po zavaření použitím technologie Tandem Weld.

Tabulka 6 – Parametry svařování

Typ svaru	Housenka	Drát	Délka svaru [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost svařování [mm/s]	Doba svaření [min]	Doba pro 1m svaru [min]
$\frac{1}{2}$ -V svar	1.	První	1200	300 ÷ 325	25 ÷ 28	5,8	3,448	2,873
		Druhý		220 ÷ 240	23 ÷ 26			
	2. ÷ 3.	První		420 ÷ 445	32 ÷ 36	11,7	1,709	1,424
		Druhý		320 ÷ 345	20 ÷ 23			
	4.	První		420 ÷ 445	32 ÷ 36	12,5	1,600	1,333
		Druhý		320 ÷ 345	20 ÷ 23			
	5.	První		340 ÷ 360	20 ÷ 23	5,0	4,000	3,333
		Druhý		250 ÷ 270	18 ÷ 21			

c) Svařování zkoušky „C“ robotickým zařízením technologií Tandem Weld



Obr. 25 – Příprava sestehovaného svařence před zavařením (zkouška „C“).



Obr. 26 – Ukázka vyosení mimo osu obou plechů u zkoušky „C“
(levá a pravá strana).



Obr. 27 - Zkouška „C“ po zavaření použitím technologie Tandem Weld.

Tabulka 7 – Parametry svařování

Typ svaru	Housenka	Drát	Délka svaru [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost svařování [mm/s]	Doba svaření [min]	Doba pro 1m svaru [min]
$\frac{1}{2}$ -V svar na podložku	1.	První	1478	300 ÷ 325	25 ÷ 28	8	3,079	2,083
		Druhý		220 ÷ 240	23 ÷ 26			
	2.	První		420 ÷ 445	32 ÷ 36	11,7	2,105	1,424
		Druhý		320 ÷ 345	23 ÷ 26			
	3. ÷ n	První		420 ÷ 445	32 ÷ 36	12,5	1,971	1,334
		Druhý		320 ÷ 345	20 ÷ 23			

Od času svařování jednotlivých vzorků se odvíjí normový čas pro jednotlivé typy svaru na uvedeném výložníku. Tyto údaje jsou popsány v tabulce 8. Navrhovaný normový list pro svařování výložníku na robotizovaném zařízení je součástí přílohy K. Čas uvedený v normovém listě je nutné ověřit na prvním svařovaném kuse navrhovaného robotizovaného pracoviště a případně upravit vystavený čas dle skutečného času svařování jednotlivých svarů.

Tabulka 8 – Souhrnný časový přehled svařování u jednotlivých vzorků

	Typ svaru	Délka svaru [mm]	Celková doba zavaření [min]	Průměrná doba pro 1m svaru [min]
Vzorek A	Koutový svar (7x9)	1500	3,854	2,569
Vzorek B	1/2-V svar (20)	1200	10,757	8,964
Vzorek C	1/2-V svar na podložku (20)	1478	12,081	8,174

Navrhovaný technologický postup

Současný technologický postup svařování zůstane nezměněn pouze u hlavy výložníku. Tato podsestava je řešena na současných robotických pracovištích a není nutné předělávat svařování těchto podstav na navrhované robotické zařízení a to zejména vzhledem k svařování vnitřních prostorů hlavy výložníku.

Výrazné změny se projeví u podsestavy středního dílu a celku výložníku. U středního dílu se bude kromě vnitřních žeber vzhledem k nedostupnosti svaření po zakrytí horní a spodní pásnicí celá podsestava svařovat na navrhovaném zařízení.

Svařování celku výložníku po sestehování jednotlivých podsestav a detailů bude možné provést kompletně na navrhovaném zařízení. Výrazná změna se projeví u navrhované technologie jednak na úspoře času za svařování, ale i za manipulaci s dílem, která bude více jak dvojnásobně kratší, než je dosavadní technologie.

Postup svařování robotem je následující:

Svarové housenky musí robot svařovat kyvadlově, čili pravá strana, levá strana, atd.

- 1) Zavaří se všechny příčné svary horních pásnic
 - *Postupujeme směrem od paty k hlavě výložníku*
- 2) Zavaří se všechny příčné svary spodních pásnic
 - *Postupujeme směrem od paty k hlavě výložníku*
- 3) Zavaří se všechny svislé svary bočnic
 - *Vždy postupujeme střídavým cyklem (pravá strana, levá strana, pravá strana, atd.)*
- 4) Zavaří se podélné svary bočnic
 - *Vždy postupujeme střídavým cyklem*

Po kompletní zavaření výložníku se výložník vyjme z polohovadla robotizovaného pracoviště na zámečnickou linku, kde se provede odstranění nájezdových desek a zabrousí se výběhy a přechody jednotlivých svarů.

Změny oproti současné technologii svařování jsou detailně popsány v návrzích technologických postupů (příloha G) a normových listů svařování (příloha H) na základě časového rozboru svařování (příloha CH).

4.2 Návrh svářečské dokumentace

Pro navrhovanou technologii svařování je nutné kvalifikovat postup svařování WPQR, aby bylo možné navrhovanou technologii legálně používat. WPQR určuje postup svařování navrženého svarového spoje. Vyspecifikují se jednotlivé svarové spoje, základní a přídatný materiál včetně potřebné průvodní dokumentace, např. atest, prohlášení o shodě, speciální schválení, apod.

Připraví se předběžná specifikace svařování pWPS (příloha J). Následně se provede objednávka u akreditované společnosti (AS), které se zašlou potřebné informace a specifikace pWPS.

Dále proběhne vlastní realizace WPQR za účasti dozoru a provede se záznam procesu (je-li třeba, následuje tepelné zpracování s dokladovaným záznamem). Na svařeném spoji provedeme NDT zkoušky dle požadavků ISO 15614-1 [19] a vystaví se jednotlivé protokoly zkoušek. Provedou se mechanické zkoušky dle ISO 15614-1. Pokud jsou veškeré výsledky vyhovující, AS vystaví protokol WPQR a na základě tohoto dokumentu můžeme připravit jednotlivé WPS pro výrobu dle ISO 15609. Veškeré používané dokumenty musí být řádně schváleny, např. Českým svářečským ústavem.

4.3 Požadavky na kvalifikaci svářeče

Pro navrhované strojní zařízení bude nutné zaškolit nové pracovníky neboli svářečské operátory, jelikož obsluhu může provádět pouze kvalifikovaný svářečský operátor. Požadavky na kvalifikaci svářečských operátorů pro tavné plně mechanizované svařování kovových materiálů jsou předepsány dle normy ČSN EN 1418 [19]. Operátor musí získat oprávnění jedním ze způsobů dle kap. 4.2 v uvedené normě ČSN EN 1418. V našem případě operátor získá oprávnění na základě zkoušek vzorků z výroby. Za předpokladu, že svářečský operátor postupuje podle schváleného postupu svařování (WPS) a zkoušky vzorků z výroby jsou vyhovující, je rozsah oprávnění pro operátora platný.

V osvědčení způsobilosti pro svářečského operátora musí být navíc uvedeny podrobnosti podle odstavce 4.2.5 normy ČSN EN 1418 a to, že mechanizované pracoviště obsahuje snímač svaru, že se jedná o vícevrstvý svar a také zde musí být uveden typ robota.

5 Technické a ekonomické přínosy navrhované technologie

V této části jsou podrobně rozepsány současná a navrhovaná technologie svařování. Jsou zde rozepsány výrobní časy, náklady na svařování a náklady na přídatný materiál. Tato data jsou porovnávána a vyhodnocena jak z ekonomického, tak i z technického hlediska.

Svařování podsestavy hlavy výložníku na robotizovaných zařízeních FANUC a MOTOMAN zůstanou stejné u obou posuzovaných technologických postupů.

5.1 Svařování ruční tavící se elektrodou v aktivním plynu MAG (135)

a) Sestavení a sestehování výložníku

Postup sestavení a stehování výložníku viz 1.3. Jednotlivé zámečnické operace včetně jejich výrobních časů, které jsou spočítány dle podnikového normativu, jsou uvedeny v současném technologickém postupu (příloha A) a obsahují:

- Přípravu a úklid náradí,
- přípravu detailů, rýsování,
- manipulaci s detailem,
- sestavení, lícování, zuhlování a stehování detailů.

b) Svařování výložníku

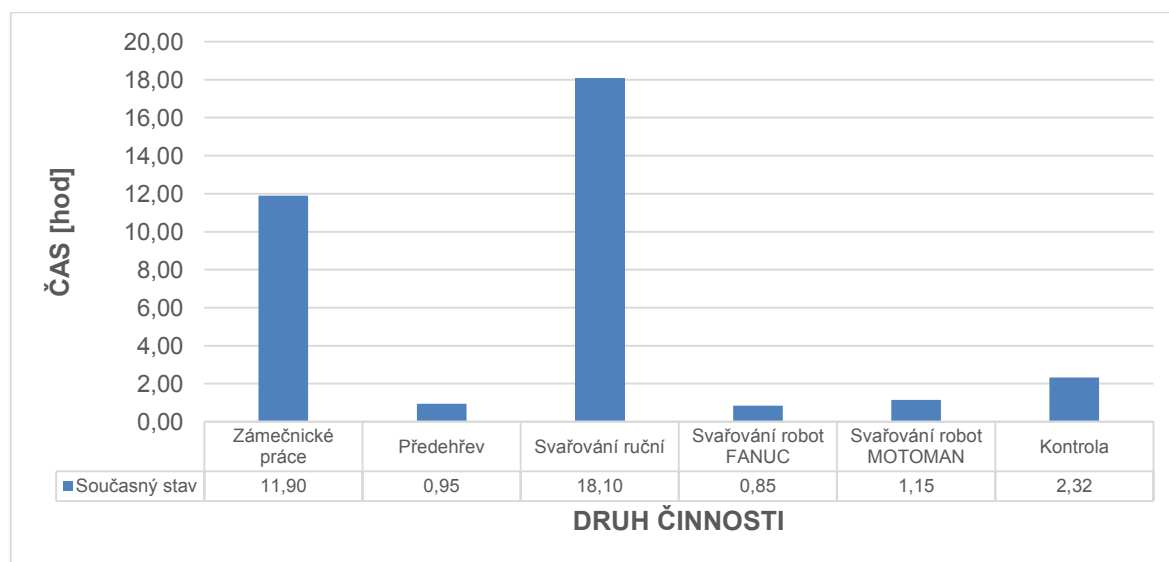
Postup svařování výložníku viz 1.3. Jednotlivé svářečské operace (mimo svařování podsestav) včetně jejich výrobních časů, které jsou spočítány dle podnikového normativu, jsou uvedeny v tabulce 9. Současný časový rozbor svařování je uveden v příloze B. Po součtu času a vynásobení orientační sazby svářeče zjistíme, jaké náklady budou potřeba pro ruční svaření výložníku metodou 135. Tyto časy jsou následně porovnány s časy robotizované technologie v kapitole 5.3.

Tabulka 9 – Rozpis operace svářeče pro ruční svařování

Druh činnosti	Čas [min]	Čas [hod]
Příprava	145,87	2,43
Manipulace	128,75	2,15
Předehřev	56,77	0,95
Svařování	1056,02	17,60
Celkem	1387,42	23,12
Sazba svářeče	450 Kč/hod	
Cena celkem	10 406 Kč	

c) Přídavný svařovací materiál

Vydávané množství přídavného svařovacího materiálu na pozorovaný svařenec výložníku činí **100,7 [kg]**. Pro svařování výložníků se používá přídavný materiál jakostí G3Si1 dle normy ČSN EN ISO 14341 pod obchodním názvem OK Aristorod 12.50 od výrobce ESAB. Orientační cena přídavného drátu je **32 Kč/kg**. Vynásobíme-li hmotnost s cenou vydávaného přídavného svařovacího drátu, zjistíme, že celková cena přídavného materiálu činí **3 222 Kč**, pro ruční svařování.



Obr. 28 – Grafické vyobrazení časových fondů jednotlivých operací u současné technologie svařování.

5.2 Svařování navrhovaným robotizovaným zařízením

a) Sestavení a sestehování výložníku

Celková spotřeba času na sestavení a sestehování výložníku zůstává stejná, viz kap. 5.1 s tím rozdílem, že se mění pouze technologie svařování, která nijak neovlivní čas, který je potřeba pro zámečnické práce.

b) Svařování výložníku na navrhovaném robotizovaném pracovišti

Navrhovaný postup svařování výložníku robotizovaným zařízením viz kap. 4.1. V tabulce 10 jsou rozepsány jednotlivé svářečské operace (mimo svařování podsestav) včetně jejich výrobních časů, které jsou spočítány dle dosledovaných časů, které byly zapsány při provádění zkušebních vzorků, viz kap. 4.1. Navrhovaný normový list svařování je součástí přílohy K. Součet těchto časů je následně porovnán s časy ručního svařování uvedené v kap. 5.3.

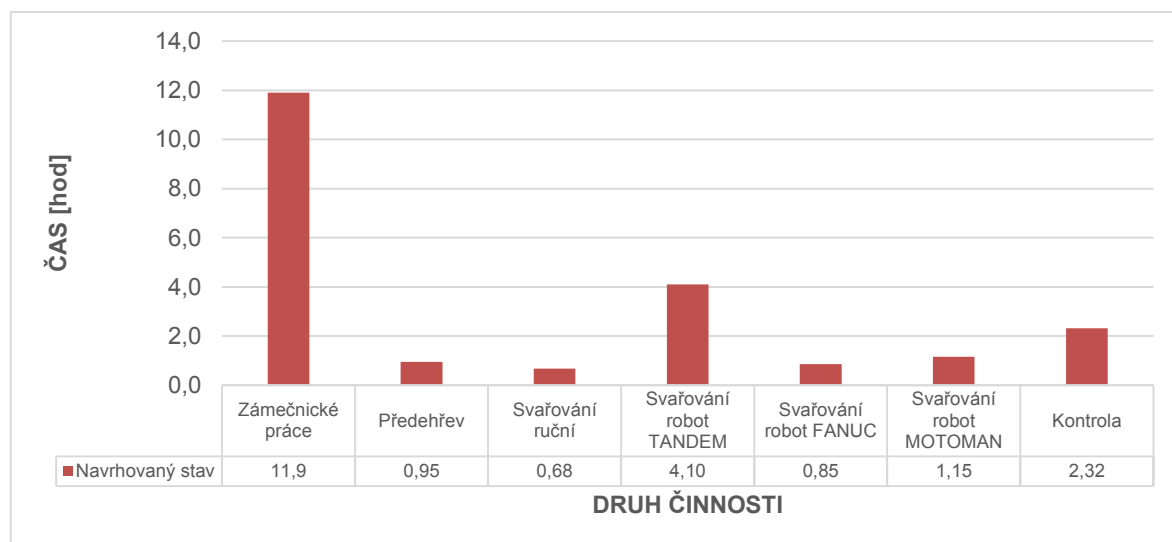
Tabulka 10 - Rozpis operace svářeče navrhovaném robotickém pracovišti

Druh činnosti	Čas [min]	Čas [hod]
Příprava	87,69	1,46
Manipulace	30,44	0,51
Přehřev	56,77	0,95
Svařování	245,65	4,09
Celkem	420,55	7,01
Sazba operátora	450 Kč/hod	
Cena celkem	3 154 Kč	

c) Přídavný svařovací materiál

Vydávané množství a jakost přídavného svařovacího materiálu na pozorovaný svařenec výložníku pro robotizovanou technologii je stejné, jak u svařování ruční tavicí se elektrodou v aktivním plynu a činí 100,7 [kg].

Pro robotizované svařování výložníků se používá přídavný materiál stejné jakosti G3Si1 dle normy ČSN EN ISO 14341, ale nakupuje se v sudech pod obchodním názvem CARBOFIL GOLD od firmy OERLIKON. Orientační cena svařovacího drátu je 35 Kč/kg. Vynásobíme-li hmotnost s cenou vydávaného přídavného svařovacího drátu, zjistíme, že celková cena přídavného materiálu činí 3 525 Kč.



Obr. 29 – Grafické vyobrazení časových fondů jednotlivých operací u navrhované technologie svařování.

5.3 Ekonomické porovnání svařovacích časů technologie svařování

V této kapitole je porovnání technologických variant metod svařování robotizovaným zařízením s metodou tavící se elektrodou v aktivním plynu.

a) Sestavení a sestehování

Práce spojené se skládáním dílců do přípravku, sestehování, zabrušování svarů, apod., zůstane u obou technologií stejné. Rozdíl může nastat v okamžiku, kdybychom uvažovali o tzv. kombinovaném pracovišti, tím se rozumí pracoviště zámečnicka spojit s pracovištěm svářeče. Ve skutečnosti by to vypadalo tak, že v době svařování výložníku by mohl vedle robotického pracoviště skládat další výložník, přičemž by se ještě celkové náklady na výrobu výložníku snížily. Tato možnost sjednocení dvou pracovišť do jedné zde není dále popsána, jelikož se jedná o další výrobní etapu využitelnosti robotického pracoviště a o budoucí úvahu, která bude zpracována až v průběhu odzkoušení robotického pracoviště.

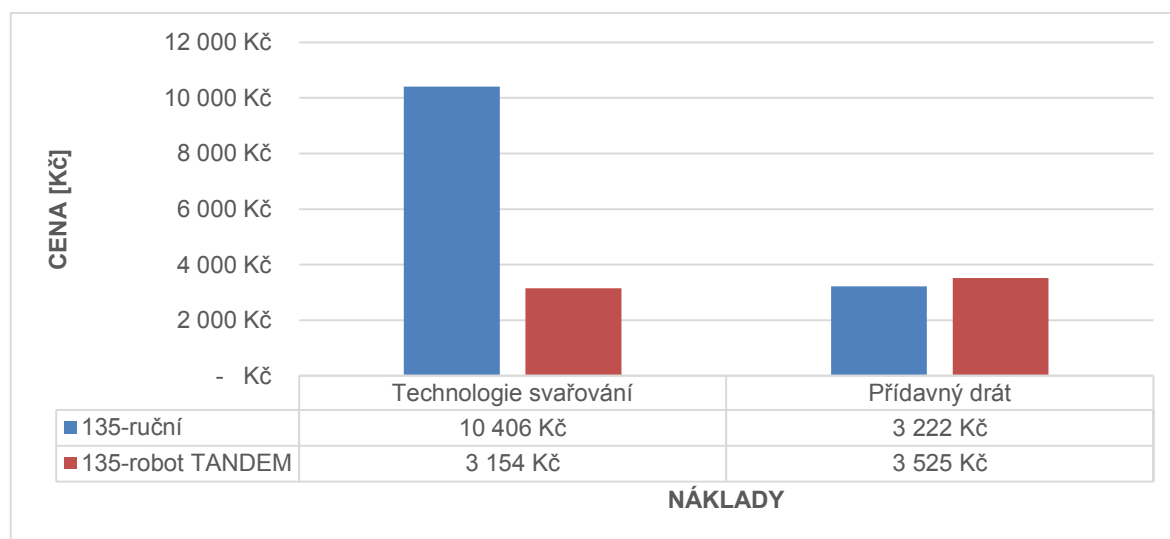
b) Svařování výložníku

Náklady na svaření celého výložníku jsou u obou technologií rozdílné. U stávající ruční technologie jsou náklady na svařování 10 406 Kč při sazbě pracoviště 450 Kč/hod a u navrhované technologie svařování robotizovaným zařízením 3 154 Kč při zachování současné sazby pracoviště. Z uvedených nákladů za svařování vyplývá, že technologie robotického svařování je o 7 252 Kč levnější, než-li současná technologie ručního svařování.

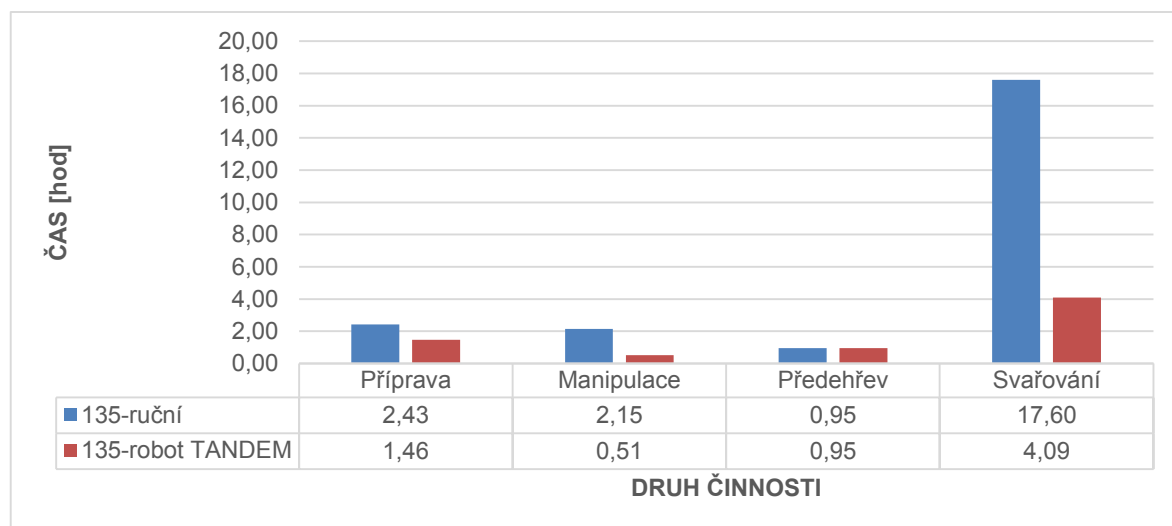
c) Přídavný svařovací drát

Náklady na přídavný svařovací drát jsou též u obou technologií rozdílné, jelikož u stávající technologie je orientační cena přídavného svařovacího drátu 32 Kč/kg a cena přídavného drátu pro robotické svařování tandemovým hořákem je 35 Kč/kg. V závislosti na vydávaném množství činí náklady na ruční svařování 3 222 Kč a na robotické svařování 3 525 Kč za přídavný svařovací drát. Z uvedených nákladů vyplývá, že přídavný svařovací drát na robotické svařování je nákladnější o 302 Kč, než svařovací drát pro současné ruční svařování.

Celkové srovnání nákladů na svařování a přídavný materiál jsou vyobrazeny v grafu na obr. 30. Porovnání času svařování ručního a robotického svařování na daném typu výložníku je vyobrazeno v grafu na obr. 31.



Obr. 30 – Grafické porovnání nákladů současné a navrhované technologie svařování.



Obr. 31 – Grafické porovnání časů současné a navrhované technologie svařování.

Při použití navrhované technologie se zkrátí přípravné časy, časy pro potřebnou manipulaci při svařování a hlavně čas svařování, který se zkrátí o 13,5 hodin. Přičemž zkrácení času se projevuje i na celkových nákladech na svařování, které jsou o 7 252 Kč levnější u navrhované technologie než u současné technologie svařování. Celková úspora při svařování na jednom kuse výložníku při použití navrhované technologie činí 6 950 Kč. Výrazné zkrácení časů je způsobeno větší rychlostí svařování.

5.4 Zhodnocení nákladů a technického přínosu

Z ekonomického porovnání je patrné, že změna technologie svařování má nejpriznivější vliv na čas svařování, a tím i na cenu za provedení svarů. Ke zvýšení ceny dojde u přídatného materiálu, protože navrhovanou technologii robotizovaného svařování je svařovací drát nepatrně dražší, avšak toto navýšení ceny o **9,4 %** je zanedbatelné, jelikož navrhovaná technologie disponuje významně nižší cenou za svařování a to téměř o 70 % a hlavně časovou úsporu svařování téměř o **77 %**. Důležitým faktorem je i kvalita svarů a úspora času při drážkování chybně provedených svarových spojů, které by byly nevyhovující zkoušce ultrazvuku při ručním svařování.

Potřebné investice pro zavedení navrhované technologie budou:

- Zakoupení robotického svařovacího zařízení,
- kvalifikace postupu svařování WPQR,
- kvalifikace pro stávající svářeče, popřípadě nové svářeče pro zajištění minimálně dvousměnného provozu zařízení,
- výroba vhodných přípravku pro další možné úspory.

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že navrhovaná technologie svařování Tandem Weld, bude mít výrazný vliv na zvýšení konkurenceschopnosti společnosti UNEX a.s. v oblasti svařování výložníků. Pro obdobné typy výložníků je technologie Tandem Weld za použití robotický zařízení výbornou volbou. Důležitým aspektem je i to, že navrhovanou technologií lze použít i na díly s podobnou koncepcí.

6 Závěr

V této bakalářské práci je podrobně popsán současný stav svařování výložníků rypadel. Potřebné informace byli získány studiem firemních dokumentů, zejména technologických postupů svařování, normových listů svařování a svářečskou dokumentaci určenou pro vytypovaný typ výložníku rypadla. Po vyhodnocení současného stavu bylo zjištěno, že současná technologie svařování je příliš nákladná a pro zvýšení konkurenceschopnosti firmy je zapotřebí najít vhodné řešení, které výrazně sníží výrobní i časové náklady na svařování výložníků.

Byly zde navrženy vhodné technologie pro robotické svařování. Z několika návrhů, byla vybrána technologie svařování Tandem Weld, vzhledem k možnosti použití dvou drátů se dvěma oblouky v jedné hlavě. Výhodou zvolené technologie je, že každý z drátů může mít naprogramovány odlišné parametry. Následně bylo navrženo pracoviště a technologický postup svařování pro robotické svařování společně s časovým rozbohem svařování na robotizovaném pracovišti. Společně s návrhem a posouzení zkušebních vzorků byl proveden návrh pWPS pro kvalifikaci postupu WPQR a vyspecifikovány požadavky na kvalifikaci svářečských operátorů.

Dále bylo provedeno ekonomické srovnání současné technologie svařování s navrhovanou technologií. Byly porovnány výrobní časy na sestavení a stehování, náklady na svařování a přídatný drát. Výsledky byly promítnuty do jednotlivých grafů. Z výsledků porovnání současné a navrhované technologie svařování plyne, že navrhovaná technologie bude mít významný podíl jak na produktivitě výroby, tak hlavně na celkové jakosti svařence výložníku. Navrhovaná technologie svařování je na jednom kuse výložníku o téměř 70 % méně nákladná a to ekonomickou úsporou 6 950 Kč a o téměř 77 % méně časově náročná a to časovou úsporou svařování 13,5 hodin, než-li současná technologie ručního svařování.

Pro zavedení této technologie bude nutné investovat do robotického svařovacího zařízení, kvalifikaci postupu svařování, kvalifikací stávajících popřípadě nových svářečských operátorů tak, aby bylo zajištěno maximální využití navrhované technologie. V porovnání se současnou technologií svařování výložníku dojde při použití robotického zařízení s technologií Tandem Weld ke značné racionalizaci svařování výložníků. Navrhovaná technologie najde své využití i u jiných výrobků s podobnou koncepcí, jako jsou násady rypadla, vozíky, spodní rámy, nosníky, atd.

7 Seznam použité literatury

- [1] UNEX a.s. *Profil společnosti*. [Online]. Strojírensko-metalurgická společnost [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW: <<http://www.unex.cz/cs/strojirenstvi/>>
- [2] VOLVO [Online] *Crawler Excavator EC140C*. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW:
<http://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/Documents%20Global/crawler%20excavators/ProductBrochure_EC140C_EN_21B1004117_2009-04.pdf>
- [3] VOLVO [Online] *EC480D Crawler Excavator in Studio*. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW: <<http://www.flickrriver.com/photos/volvocena/5836654197/>>
- [4] ČSN EN ISO 4063 *Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [5] ESAB.cz [Online]. *Svařování a pálení* [cit. 27. dubna 2014]. Zpravodaj. Dostupné na WWW: <<http://products.esab.com/cz/Templates/T041.asp?id=114426>>
- [6] ESAB.cz [Online]. *Specifikace přídavného materiálu OK ARISTOROD 12.50* [cit. 27. dubna 2014]. Zpravodaj. Dostupné na WWW:
<<http://products.esab.com/cz/Templates/T041.asp?id=114426>>
- [7] Oerlikon Balzers Coating Austria GmbH [Online]. *Specifikace přídavného materiálu CARBOFIL 1*. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW:
<<http://www.oerlikonline.hu/files/200.pdf>>
- [8] ČSN EN ISO 6947 *Svařování a příbuzné procesy - Polohy svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [9] KEMPPPI [Online]. *WeldForce*. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW:
<<http://www.elznic.cz/kemppi/mig/weldforce.php>>
- [10] Robotics, Fanuc [Online] *Fanuc: Welcome to the yellow world*. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW: <<http://www.fanucrobotics.cz/cs>>

- [11] YASKAWA [Online]. *Svařovací roboti MOTOMAN*. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW: <<http://www.motoman.cz/>>
- [12] ČSN EN ISO 17635 *Nedestruktivní zkoušení svarů - Všeobecná pravidla pro kovové materiály*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [13] ČSN EN ISO 5817 *Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním - Určování stupňů kvality*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [14] ČSN EN ISO 17640 *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení ultrazvukem - Techniky, třídy zkoušení a hodnocení*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [15] ČSN EN ISO 11666 *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení ultrazvukem - Stupně přípustnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [16] HADYNA - International, spol. s.r.o. [Online] *Robotizace svařování a řezání kovů*. Ostrava-Mariánské Hory. [cit. 27. dubna 2014]. Zpravodaj. Dostupné na WWW: <http://www.hadyna.cz/CST/download/Robotizace_CZ.pdf>
- [17] Cloos [Online] *Cloos - Weld your way*. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW: <<http://en.cloos.de/cloos/en/produkte/prozess/index.php?navanchor=1110013>>
- [18] FRONIUS [Online]. *LaserHybrid*. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na WWW: <http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_international/hs.xsl/79_687_ENG_HTML.htm#.Uydz0vI5NL8>
- [19] ČSN EN ISO 15614-1. *Stanovení a kvalifikace postupu svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

8 Seznam příloh

Příloha A	Současný technologický postup svařování výložníku
Příloha B	Současný normový list svařování
Příloha C	Svařovací mapa WM 06-004
Příloha D	Výkres výložníku
Příloha E	Schématický výkres návrhu robotického pracoviště
Příloha F	Výkresy zkušebních vzorků
Příloha G	Návrh technologického postupu svařování výložníku
Příloha H	Návrh normového listu svařování
Příloha CH	Časový rozbor svařování
Příloha J	Předběžná kvalifikace svařování pWPS

Kompletní bakalářská práce je v daném rozsahu v elektronické podobě na CD médiu.

PODĚKOVÁNÍ

Na závěr chci poděkovat společnosti UNEX a.s. za možnost zpracování bakalářské práce a vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vladislavovi Ochodkovi za poskytnuté rady při zpracování bakalářské práce.

V Ostravě 19. 5. 2014



podpis studenta